



⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑧ EP 0 419 369 B 1

⑩ DE 690 32 277 T 2

⑤ Int. Cl.⁶:
G 03 F 7/20
H 01 J 37/304

- ⑳ Deutsches Aktenzeichen: 690 32 277.1
㉑ Europäisches Aktenzeichen: 90 402 617.6
㉒ Europäischer Anmeldetag: 21. 9. 90
㉓ Erstveröffentlichung durch das EPA: 27. 3. 91
㉔ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 29. 4. 98
㉕ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 17. 12. 98

DE 690 32 277 T 2

- ⑬ Unionspriorität:
8912497 22. 09. 89 FR
- ⑬ Patentinhaber:
SIM (Société D'Investissement Dans La
Microscopie) S.A., Marsannay La Cote, FR
- ⑭ Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt
- ⑭ Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL

- ⑭ Erfinder:
Da Fornel, Frederique, F-21000 Dijon, FR;
Goudonnet, Jean-Pierre, F-21000 Dijon, FR;
Mantovani, James, States Boro, GA 30458, US

- ⑤ Optisches Nahfeld-Verfahren für Mikrolithographie und Mikrolithographie-Vorrichtungen unter Verwendung desselben

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 690 32 277 T 2

690 32 277.1

Beschreibung

5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Mikrolithographieverfahren zur Ausbildung von submikrometergroßen Oberflächenstrukturen auf einem Substrat von der Art eines Siliziumwafers sowie eine Vorrichtung zu dessen Durchführung.

10 Das Verfahren zur Herstellung von integrierten Schaltungen, insbesondere Schaltungen mit Höchstintegration (auch als VLSI bezeichnet), umfaßt eine Aufeinanderfolge von Stufen, durch die komplexe, in einem Siliziumwafer eingetätzte Strukturen ausgebildet werden können, nämlich:

- Oberflächenoxidation von Silizium, um eine dünne Siliziumoxidschicht auszubilden,
- 15 - Aufbringen einer Schicht eines Materials, das gegenüber Strahlen, z. B. UV-Licht, einem Elektronenstrahl oder einem Röntgenstrahl, empfindlich ist,
- Abbildung eines latenten Musters auf diesem Material durch ein Mikrolithographieverfahren, wie z. B. ein Maskenverfahren,
- Vergrößerung dieses latenten Musters durch eine geeignete Entwicklungsmethode,
- 20 - wobei Sperrzonen das auf dem Silizium auszubildende Muster begrenzen,
- Stabilisierung des Musters durch ein geeignetes Fixierungsverfahren oder ein Ätzverfahren, z. B. mit Plasma,
- Ionenbestrahlung des Siliziums durch die in dem Siliziumoxid erhaltenen Öffnungen (um unterschiedlich dotierte Bereiche in dem Silizium auszubilden).

25 Alle diese Schritte des Herstellungsverfahrens können mehrere Male wiederholt werden, wobei die Mikrolithographie jedesmal der entscheidende Schritt zur Erzielung einer guten Ausbeute an Submikrometer-Mustern ist.

30 Das am häufigsten verwendete der bekannten Mikrolithographieverfahren ist die Photomaskierung oder auch die Projektionsabbildung. Dabei fertigt der Konstrukteur der integrierten Schaltung mehrere lichtundurchlässige Masken an, die nacheinander dazu dienen, bestimmte Muster auf einem lichtempfindlichen Lack zu erzeugen (Negativlack zur Anfertigung transparenter Muster oder ein Positivlack zur Anfertigung lichtundurchlässiger Muster).

35 Die Belichtung erfolgt vorzugsweise mit einem Licht kurzer Wellenlänge von der Art des UV-Lichtes. Die Positionierung oder erneute Positionierung von lichtundurchlässigen Masken auf einem Siliziumwafer ist eine schwierige Operation, da deren Ausrichtung zueinander genau sein muß. Darüber hinaus muß ein enger Kontakt zwischen dem Lack und der Maske bei der Belichtung gegeben sein, um einen Schatten zu vermeiden, wozu eine

genaue Kontrolle der Größenveränderungen des Siliziumwafers und der Maske erforderlich ist. Dieses Verfahren ermöglicht es, mit einem Positivlack (die Auflösung eines Negativlackes ist wesentlich niedriger) auf Siliziumwafern Muster auszubilden, deren Auflösung im Bereich von $0,5 \mu\text{m}$ liegt.

Darüber hinaus, d.h. wenn man Muster mit niedrigerer Auflösung erzeugen und insbesondere versuchen möchte, den Grenzwert von $0,1 \mu\text{m}$ zu erreichen, der als die in der Halbleiterphysik festgelegte Grenze gilt, besitzt ultraviolettes Licht eine zu große Wellenlänge. Daher hat man nicht-optische Mikrolithographieverfahren entwickelt, die auf der Verwendung eines Elektronenstrahls oder eines Röntgenstrahls beruhen, wobei eine direkte Rasterung oder „Bestrahlung“ durch eine geeignete Maske, einen für diese Strahlen empfindlichen Lack, erfolgt. Die beste derzeit erzielte Auflösung liegt im Bereich von $0,3 \mu\text{m}$.

Diese letztgenannten Verfahren besitzen jedoch noch schwerwiegende Nachteile.

Dies ist insbesondere beim direkten Schreiben auf einem Lack mit einem monokinetischen Elektronenstrahl geeigneter Energie der Fall. Während bei diesem Verfahren keinerlei Maske benötigt wird, unterliegt es hinsichtlich der Auflösung durch oft inakzeptable Sekundärphänomene Einschränkungen. Es erfolgt nämlich eine Emission von Sekundärelektronen, wenn der Elektronenstrahl auf die Oberfläche des Lackes und des Siliziums trifft. Die daraus resultierende Rückstreuung von Elektronen bewirkt einerseits eine Verdickung der eingravierten Muster und insbesondere der Linienführung, andererseits eine Erhöhung des Belichtungslevels des Untergrunds der Lackschicht. Darüber hinaus bewirkt sie einen Effekt der Annäherung zwischen benachbarten Mustern, so daß die Berechnung korrigierender Faktoren bei der Belichtung erforderlich wird. Die Belichtung hängt somit von der Dicke des Lackes ab und unterliegt schwer steuerbaren Parametern.

Die nicht-optische Lithographie mit weichen Röntgenstrahlen (mit einer Energie im Bereich von 280 bis 1000 eV) ist ein Verfahren mit einer Projektion durch äußerst feine Masken, mit dem wohl eine besonders hohe Auflösung ($0,1 \mu\text{m}$) erzielt werden kann. Dieses Verfahren besitzt nicht die zuvor erwähnten Nachteile des direkten Schreibens mit einem Elektronenstrahl. Es ist jedoch erforderlich, die Masken auf dem Siliziumwafer bei jedem Verfahrensschritt zur Herstellung von integrierten Schaltungen neu auszurichten, und diese Vorgänge können sehr viel Zeit erfordern.

Schließlich ist ein neues Lithographieverfahren bekannt, das jedoch wegen weiter unten angeführter Gründe noch nicht die Schwelle zur industriellen Anwendbarkeit überschritten hat. Dieses Verfahren besteht darin, daß man eine Strahlungsquelle in äußerst geringer Entfernung zur Oberfläche des zu belichtenden Wafers hält. Zu diesem Zweck ist ein

elektronischer Nähensensor, der direkt von einem elektronischen Rastertunnelmittel abgeleitet ist, neben der Strahlungsquelle vorgesehen. Es ist bekannt, daß ein derartiger Nähensensor die Beibehaltung so geringer Abstände wie etwa zehn Angström zwischen einer leitenden Spitze und einer leitenden Fläche erlaubt. Bei einem derartigen Abstand sendet eine punktförmige Strahlungsquelle - im allgemeinen handelt es sich dabei um eine UV-Strahlenquelle - eine Strahlung mit sehr geringer Beugung aus. Die Mikrolithographie eines Lackes ist somit sehr präzise, und die Auflösung ist deutlich besser, ohne daß man auf Verfahren unter Verwendung sehr kurzer Wellenlängen (monokinetische Elektronenstrahlen oder Röntgenstrahlen) zurückgreift.

Die Durchführung dieses Verfahrens gestaltet sich jedoch aus folgenden Gründen schwierig:

- Zunächst sind die Strahlungsquelle und der Nähensensor gegeneinander verschoben. Somit läßt sich der Abstand zwischen der Quelle und der zu belichtenden Lackoberfläche nicht genau steuern. Angesichts der Größenordnung dieses Abstandes (einige Angström) sowie der Oberflächenunregelmäßigkeiten im Nanometerbereich kann diese Verschiebung den Kontakt der Strahlungsquelle mit der Oberfläche bewirken, was zu deren Beschädigung führt.
- Aufgrund der elektronischen Natur des Nähensensors mit Tunneleffekt muß die auf Abstand zu haltende Oberfläche außerdem leitfähig sein. Wenn man einen für optische Strahlen empfindlichen Lack („Photoresist“) verwenden möchte, muß man dafür sorgen, daß auf diesem Lack eine leitfähige Schicht aufgebracht wird. Dies ist ein deutlicher Nachteil, da das Verfahren dadurch komplizierter wird. Wenn man andererseits einen für nicht-optische Strahlen empfindlichen Lack („Elektroresist“) verwendet, ist die Oberfläche leitfähig; man muß dann allerdings mit Elektronen oder Röntgenstrahlen schreiben. Folglich müssen die punktförmigen Röntgenstrahlenquellen, ebenso wie die Elektronenquellen, gegenüber der zu beschreibenden Oberfläche elektrisch vorgepolzt sein, um funktionieren zu können. Diese Vorpotung stört oder verhindert sogar eine Messung des Stroms mit sehr geringer Stärke, der zwischen der Oberfläche und dem elektronischen Tunneleffektsensor fließt.
- Schließlich verändert sich die chemische Natur des Lackes während des Schreibens. Da der von dem Tunneleffektsensor empfangene Strom sehr deutlich mit dieser chemischen Natur variiert, kann die Steuerung des Abstandes nicht mehr verläßlich sein.

Aus Patent Abstracts of Japan, Bd. 5, Nr. 167 (E-79) (839), 24. Oktober 1981 (und aus der JP-A-56 94 742) ist eine Vorrichtung zur Mikrolithographie mittels Elektronenstrahl bekannt. Diese Vorrichtung umfaßt einen Nähensensor mit Wellenleiter zur Messung der Veränderung

der Stärke einer elektromagnetischen Welle, die von dem Substrat in dem am Ende dieses Sensors gelegenen Bereich reflektiert wird, in Abhängigkeit eines Abstandes von dem Substrat. Gemäß dieser Druckschrift dient die von dem Sensor empfangene Information zur Steuerung des Brennpunktes des Elektronenstrahls, um diesen so zu regeln, daß die Position des Elektronenstrahls, der die Abbildung erzeugt, mit der Oberfläche des zu behandelnden Substrates zusammenfallen kann.

Diese Vorrichtung besitzt jedoch den Nachteil, daß die Strahlungsquelle, d.h. der Elektronenstrahl, und der Nähsensor gegeneinander verschoben sind, wodurch die Behandlung niemals an derselben Stelle erfolgt wie die Messung. Dies bewirkt eine ungenaue Belichtung.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist die Beseitigung dieser Nachteile, wozu ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und eine Vorrichtung gemäß Anspruch 4 zur Durchführung dieses Verfahrens vorgeschlagen werden. Das Verfahren und die Vorrichtung sind in den Unteransprüchen noch näher bestimmt.

Ein Nähsensor mit Wellenleiter der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Art ist insbesondere in der französischen Patentanmeldung Nr. 89.11297 beschrieben, die im Namen der Anmelderin am 28. August 1989 unter dem Titel „Nahfeldreflexionsmikroskop unter Verwendung eines Wellenleiters als Sonde dieses Feldes“ angemeldet wurde.

Ein derartiger Sensor ist in der Lage, die schnelle Veränderung der Stärke einer elektromagnetischen Welle, die am Ende der Faser emittiert und auf dem Rückweg durch das Substrat reflektiert wird, in Abhängigkeit von dem genannten Abstand zu messen. Dieses Phänomen wird in dem als Nahfeld bezeichneten Bereich in der Nähe des Endes der aussendenden Faser, d.h. bei Abständen von weniger als zehn Einheiten der als Meßgröße dienenden elektromagnetischen Wellenlänge, deutlich.

Die erfindungsgemäße Verwendung eines optischen Nähsensors ermöglicht die Überwindung der Nachteile der bisher bekannten Mikrolithographievorrichtungen. Des weiteren kann das Schreiben auf dem Lack optisch oder elektronisch erfolgen, ohne die Beibehaltung des Abstandes zur Quelle mittels Sensor zu beeinträchtigen. Schließlich erfolgt das Schreiben auf dem Lack bei bestimmten erfindungsgemäßen Varianten an dem Ort, an dem die Abstandsmessung zwischen der Strahlungsquelle und einer zur Oberfläche des Lackes im wesentlichen parallelen Oberfläche durchgeführt wird.

Es wird nun noch einmal das Funktionsprinzip eines optischen Nähsensors vom Fasertyp im Nahfeld beschrieben. Eine Lichtleitfaser, die in geeigneter Weise mit einer

elektromagnetischen Strahlungsquelle (z. B. einer Schmalbandleuchtdiode) verbunden ist, emittiert an ihrem Ende eine elektromagnetische Welle zu einer reflektierenden Oberfläche. Der Ausbreitungsmodus dieser Welle resultiert aus der geleiteten Ausbreitung der Strahlen in der Faser. Nach der Reflexion auf der Oberfläche wird die Welle auf dem Rückweg von der Faser aufgefangen, wo sie sich in geleiteter Weise bis zu einem Rezeptor ausbreitet, der ihre Intensität mißt. Ausgehend von der äußerst realistischen und insbesondere durch Erfahrung bestätigten Vermutung, daß die auf dem Rückweg von der Faser aufgefangene Welle von einer virtuellen optischen Faser stammt, die bezüglich der von der reflektierenden Oberfläche begrenzten Ebene symmetrisch zu der ersten Faser ist, wurde gezeigt, daß die von dem Rezeptor empfangene Intensität proportional abhängig von der Kopplung zwischen der Ausbreitungsweise der in der Luft reflektierten (und von der virtuellen Faser „emittierten“) Welle und der Hauptausbreitungsart in dem Nähensensor ist. Somit ist eine sehr rasche Verringerung der Intensität der Welle festzustellen, die in Abhängigkeit von dem Abstand zwischen dem Ende der Faser und der reflektierenden Oberfläche detektiert wird.

Dieses Phänomen macht sich die bereits erwähnte französische Patentanmeldung Nr. 89-11 297 zunutze, um durch Rastern die Topographie einer zu untersuchenden Oberfläche oder auf dieser Oberfläche lokalisierte, spektroskopische Informationen zu erhalten. Insbesondere wurde gezeigt, daß die vertikale und die laterale Auflösung einer derartigen Mikroskopvorrichtung jeweils Werte im Bereich von 10 bzw. 50 Nanometern erreichen kann. Des weiteren ist die Verringerung der Intensität selbst bei einem Abstand von mehreren μm noch wahrnehmbar (und somit nutzbar).

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, wie es in Anspruch 1 definiert ist, kann man somit die Oberfläche eines für eine Strahlung empfindlichen Lackes rastern und beschreiben und gleichzeitig die Strahlungsquelle in einem Abstand von einigen zehn Nanometern bis zu mehreren Mikrometern halten; die Gefahren der Kollision zwischen der Quelle und dem Lack werden auf diese Weise deutlich verringert. Darüber hinaus ist die laterale Auflösung des Rasterns hoch genug, wenn man auf einem Siliziumwafer Muster ausbilden möchte, deren Größe 100 Nanometer nicht unterschreitet.

Des weiteren ist für das Funktionieren des Nähensensors keine Metallbeschichtung der Oberfläche erforderlich. Der auf dem Siliziumwafer aufgebrachte Lack kann somit beliebig gewählt werden: sei es nun ein für UV-Strahlung empfindlicher („Photoresist“) oder ein für nicht-optische Strahlen empfindlicher („Elektroresist“). Da dessen Dicke im Hinblick auf die Steuerung des Abstands keine Rolle spielt, ist es außerdem sehr vorteilhaft, sehr dünne Lackschichten aufzubringen, wodurch die Auflösung verbessert und die Belichtungszeit verkürzt wird.

Bei einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Mikrolithographie des Substrates, wie z. B. eines Siliziumwafers, durch photomechanisches Schreiben auf einem zuvor auf diesem Substrat aufgetragenen, lichtempfindlichen Lack, wobei die Wellenlänge des zu diesem Zweck verwendeten Lichtes sich deutlich von der Wellenlänge der elektromagnetischen Welle unterscheidet, die zur Beibehaltung des Abstands der Lichtquelle zur zu belichtenden Oberfläche durch den Nähsensor mit Lichtleitfaser dient.

So kann man beispielsweise mit den derzeit verwendeten lichtempfindlichen Lacken Submikrometernuster unter Verwendung von UV-Licht (mit einer Wellenlänge von weniger als 400 nm) ausbilden. Diese Lacke sind außerdem lichtdurchlässig für Strahlen in der Nähe des Infrarot- oder Rotlichtbereichs und insbesondere für die Welle, die von einem Helium-Neon-Laser emittiert wird und deren Wellenlänge 6328 Angström beträgt. So kann man Rotlicht verwenden, um den Nähsensor mit Lichtleitfaser zu betreiben, und das Schreiben auf dem lichtempfindlichen Lack in herkömmlicher Weise mit UV-Licht durchführen. Die Steuerung des Abstandes zwischen dem Ende der Faser des Sensors und der Oberfläche des Lackes wird vorteilhafterweise indirekt durchgeführt, da das Rotlicht die Lackschicht durchdringt; die reflektierende Oberfläche, die als Bezugsgröße zur Beibehaltung des Abstandes dient, wird somit durch die Grenzfläche zwischen dem Substrat und dem Lack, der auf dieses aufgebracht wird, gebildet. Auf diese Weise entledigt man sich:

- der Unregelmäßigkeiten bei der Aufbringung des Lackes auf dem Substrat einerseits
- und andererseits der Veränderung der chemischen Natur des Lackes bei seiner Belichtung und sogar seiner Größenveränderungen.

Es ist festzustellen, daß das zur Messung dienende Licht und das zum Schreiben dienende Licht sich vorteilhafterweise in derselben Lichtleitfaser ausbreiten und unter denselben Bedingungen zu dem Substrat emittiert werden können; bei dieser Lichtleitfaser handelt es sich selbstverständlich um diejenige, die von dem Nähsensor verwendet wird. Das Schreiben wird somit exakt an einer Stelle durchgeführt, an der man den Abstand zwischen der Quelle (die in diesem Fall von dem Ende der Lichtleitfaser gebildet wird) und dem Substrat überprüft.

Bei einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Mikrolithographie des Substrates, wie z. B. eines Siliziumwafers, durch elektromechanisches Schreiben auf einem gegenüber Elektronen empfindlichen Lack, der zuvor auf diesem Substrat abgeschieden wurde. Zu diesem Zweck werden die Elektronen von einer leitenden Spitze emittiert, die der Wirkung eines zwischen dem Substrat und der Spitze angelegten elektrischen Feldes ausgesetzt wird. Darüber hinaus wird die Spitze durch ein geeignetes

Mittel mit dem Nähensensor mit Lichtleitfaser verbunden.

Bei dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es erforderlich, eine komplexere Strahlungsquelle als die bei der ersten Ausführungsform verwendete Lichtstrahlungsquelle vorzusehen. So kann man beispielsweise, wie im folgenden ersichtlich wird, einen Teil der Lichtleitfaser des Nähensensors mit Metall beschichten und eine von dieser Metallbeschichtung vorstehende Unebenheit als Elektronenquelle verwenden (man verwendet in diesem Fall eine als „Feldemission“ bezeichnete Elektronenemission, indem man die Unebenheit einem elektrischen Feld von mehr als 10^8 V/cm aussetzt).

Bei den beiden oben erwähnten Ausführungsformen wird das Rastern der Substratoberfläche mit herkömmlichen Mitteln zur seitlichen Verschiebung sehr präzise gesteuert. Das Schreiben wird Punkt für Punkt, Geradenabschnitt für Geradenabschnitt, durchgeführt, und die zur Verschiebung erforderlichen Informationen können direkt von einer Computerdatei stammen, welche die auszubildenden Muster in üblicher Weise, mittels einer intermediären Beschreibungssprache beschreibt - es ist festzustellen, daß dieses Verfahren mit dem zum Photosatz von Masken eingesetzten vergleichbar ist.

Andere Eigenschaften und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sind aus der nachfolgenden Beschreibung mehrerer Mikrolithographievorrichtungen, die als nicht einschränkende Beispiele gegeben werden, deutlicher ersichtlich, wobei das Verfahren unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen durchgeführt wird. Dabei zeigt:

- Figur 1 eine schematische Ansicht einer Mikrolithographievorrichtung, entsprechend einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform,
- Figur 2 eine schematische Ansicht einer Mikrolithographievorrichtung, entsprechend einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform, und
- Figur 3 eine schematische Ansicht des Endes eines Nähensensors, wie er in der Mikrolithographievorrichtung verwendet wird, die in Figur 2 dargestellt ist.

Gemäß Figur 1 weist eine erste Ausführungsform einer Mikrolithographievorrichtung 1 zur Ausbildung von Submikrometerstrukturen auf der Oberfläche eines Substrates 2 von der Art eines Siliziumwafers auf:

- ein dichtes Gehäuse 3, in dem unter einer reinen und kontrollierten Atmosphäre ein zu beschreibendes Substrat 2 eingeschlossen ist,
- eine Lichtquelle 4, beispielsweise für UV-Licht, von der Art einer Xenon- (oder Quecksilber- bzw. Xenon-Quecksilber-) Hochdrucklampe,
- eine Lichtquelle 5, beispielsweise für Rotlicht, von der Art eines Helium-Neon-Lasers,

- der eine monochromatische Welle mit 6328 Angström emittiert,
- einen Nähensensor 6, der im Nahfeld arbeitet und insbesondere eine Lichtleitfaser 7 aufweist, die an ihrem Ende 8 als optische Sonde dient,
 - eine herkömmliche vibrationsfreie Auflage 9, auf der das Substrat 2 aufliegt; diese Auflage 9 kann gegebenenfalls mit einer herkömmlichen Rastervorrichtung, z. B. vom Typ, der mit Feineinstellschrauben versehen ist, verbunden sein, die das seitliche Rastern der Oberfläche des Substrates 2 durch das Ende 8 der Lichtleitfaser 7 erlaubt;
 - eine herkömmliche Vorrichtung 10 zur vertikalen Positionierung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 in bezug auf die Oberfläche des Substrates 2; diese Vorrichtung 10 zur vertikalen Positionierung, z. B. vom Typ, der eine piezoelektrische Röhre mit Quadranten umfaßt, kann ebenso zur „feinen“, d.h. submikrometergenauen, seitlichen Verschiebung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 dienen;
 - einen ersten optischen Koppler 11 mit Lichtleitfasern, der z. B. durch ein Schmelz-/Ziehverfahren hergestellt wird; dieser erste optische Koppler 11 umfaßt zwei Übertragungskanäle 11a und 11b am Eingang und zwei Übertragungskanäle 11c und 11d am Ausgang; die Lichtleitfaser 7 bildet vorteilhafterweise den Übertragungskanal 11c am Ausgang des Kopplers 11; der Übertragungskanal 11d am Ausgang wird nicht benutzt;
 - einen zweiten optischen Koppler 12 mit Lichtleitfasern von demselben Typ wie der optische Koppler 11; dieser zweite optische Koppler 12 umfaßt zwei Übertragungskanäle 12a und 12b am Eingang und zwei Übertragungskanäle 12c und 12d am Ausgang; der Übertragungskanal 12c am Ausgang ist durch ein geeignetes Mittel mit dem Übertragungskanal 11a am Eingang des optischen Kopplers 11 verbunden. Der Übertragungskanal 12a am Eingang des optischen Kopplers 12 ist durch ein geeignetes herkömmliches Mittel, das gegebenenfalls mehrere Filter umfassen kann, mit der Lichtquelle 4, z. B. für UV-Licht, verbunden. Der andere Übertragungskanal 12b am Eingang ist wiederum durch ein anderes geeignetes, herkömmliches Mittel mit der Lichtquelle 5, z. B. für Rotlicht, gekoppelt; der Übertragungskanal 12d wird nicht verwendet;
 - einen Photonendetektor 13, wie z. B. einen Photovervielfacher, der nur für das von der Quelle 5 emittierte Licht empfindlich ist; dieser Detektor 13 ist mit dem Übertragungskanal 11b am Eingang des optischen Kopplers 11 gekoppelt;
 - eine Gegenkopplungseinrichtung 14, welche die Einrichtung 10 zur vertikalen Positionierung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 mit einem Computer 15 verbindet, der insbesondere in Abhängigkeit von der Intensität, die der Photonendetektor 13 empfängt, den Abstand zwischen dem Ende 8 der Lichtleitfaser 7 und der Oberfläche des Substrates 2 steuert. Dieser Computer 15 erlaubt auch die Steuerung der seitlichen Hin- und Herverschiebungen des Substrates 2 und des Endes 8 der Faser 7.

Die Oberfläche des Substrates 2, z. B. eines Siliziumwafers, wurde zunächst auf herkömmliche Weise oxidiert, um an seiner Oberfläche eine Siliziumoxidschicht auszubilden, in der diejenigen Bereiche freizulegen sind, die später einem Ionenbeschuß ausgesetzt werden sollen, und zwar im Hinblick auf die Veränderung der lokalen elektrischen Eigenschaften der Siliziumschicht.

Zur Durchführung dieser Ätzung ist es zweckmäßig, an der Oberfläche des Substrates 2 Sperrbereiche auszubilden, die anschließend durch Ätzen in flüssiger Phase (z. B. mittels einer Säure) oder durch Trockenätzen (z. B. mit Plasma) geätzt werden. Um diese Sperrbereiche auszubilden, bringt man einen lichtempfindlichen Lack auf die Siliziumoxidschicht des Substrates 2 auf und belichtet diesen gemäß den auszubildenden Mustern.

Nachfolgend wird ein spezifisches Beispiel für eine derartige Mikrolithographie mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 gegeben.

Nach dem Aufbringen des lichtempfindlichen Lackes auf das Substrat 2 gibt man dieses in das dichte Gehäuse 3, wo eine reine, kontrollierte Atmosphäre vorherrscht. Die Mikrolithographievorrichtung 1 funktioniert dann wie folgt:

Eine auf dem Computer 15 gespeicherte Computerdatei beschreibt exakt die Gesamtheit der in dem Substrat 2 auszubildenden Muster. Diese Muster setzen sich im wesentlichen aus Geradenabschnitten vorgegebener Größe zusammen, deren Positionierung auf dem Substrat 2 perfekt sein muß. Das Verfahren zur Belichtung eines Geradenabschnittes läßt sich im einzelnen folgendermaßen beschreiben:

a) Der Computer 15 steuert mit der herkömmlichen Einrichtung zum seitlichen Rastern, die in der vibrationsfreien Auflage 9 integriert ist, die Positionierung des Substrates 2 in bezug auf das Ende 8 der Lichtleitfaser 7; diese erste Positionierung wird mit Mikrometergenauigkeit durchgeführt. Dann steuert der Computer 15 die Inbetriebnahme der Lichtquelle 5.

b) Das von dieser Lichtquelle 5 ausgestrahlte Licht breitet sich in dem Übertragungskanal 12b am Eingang des optischen Kopplers 12 aus; dann breitet sich ein vorgegebener Prozentsatz der Intensität dieses Lichtes (z. B. 50 %) in dem Übertragungskanal 12c aus, und das gesamte aus dem Koppler 12 austretende Licht breitet sich dann in dem Übertragungskanal 11a am Eingang des optischen Kopplers 11 aus. Ein vorgegebener Prozentsatz (z. B. 50 %) der Intensität des Lichtes, das sich in dem Übertragungskanal 11a ausbreitet, breitet sich dann in dem Übertragungskanal 11c am Ausgang des Kopplers 11 aus, der vorteilhafterweise von der Lichtleitfaser 7 gebildet wird.



- 5 c) Ein Teil des von der Lichtquelle 5 ausgestrahlten Lichtes wird so durch das Ende 8 der Lichtleitfaser 7 zur Oberfläche des Substrates 2 emittiert und dort vorteilhafterweise zur Grenzfläche zwischen dem Substrat 2 und dem lichtempfindlichen Lack (der für die Wellenlänge des von der Quelle 5 ausgestrahlten Lichtes durchlässig ist) reflektiert.
- 10 d) Das Rückstreulicht wird von dem Ende 8 empfangen und breitet sich dann in der Lichtleitfaser 7 entgegengesetzt zur Emissionsrichtung aus; ein bestimmter Prozentsatz dieses Rückstreulichtes (z. B. 50 %) gelangt auf diese Weise in den Übertragungskanal 11b am Eingang des Kopplers 11, wo es, gegebenenfalls gefiltert, von dem Photonendetektor 13 empfangen wird. Die von diesem Detektor 13 gemessene Intensität wird, z. B. in digitaler Form, an den Computer 15 gesendet, wo ein Sollwert für diese Intensität gespeichert ist; dieser Sollwert stellt, gemäß dem zuvor beschriebenen Abstandsmeßprinzip, den Abstand dar, den man zwischen dem Ende 8
- 15 der Lichtleitfaser 7 und der Oberfläche des Substrates 2 beibehalten möchte. Es ist festzustellen, daß das Ende 8 der Lichtleitfaser 7, wie auch in der bereits erwähnten französischen Patentanmeldung Nr. 89-xxxxx beschrieben, vorzugsweise eine ebene Ausgangsfläche, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes in der Faser 7 ist, bilden und im wesentlichen parallel zur zugewandten Oberfläche des Substrates 2 sein muß.
- 20 e) Als Funktion des Vergleichs zwischen der von dem Detektor empfangenen Intensität und dem erwähnten Sollwert sendet der Computer 15 ein Signal an die Gegenkopplungseinrichtung 14, um auf die Einrichtung 10 zur vertikalen Positionierung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 einzuwirken. Der Nähensensor 6 arbeitet folglich mit einer klassischen Gegenkopplung.
- 25 f) Nachdem das Ende 8 der Lichtleitfaser 7 im gewünschten Abstand zum Substrat 2 vertikal positioniert wurde, betätigt der Computer 15 anschließend mit Hilfe der Einrichtung 14 die Mittel zur „feinen“ seitlichen Positionierung, die in der Einrichtung 10 zur vertikalen Positionierung integriert sind, um das Ende seitlich präzise zu positionieren. Wenn es sich bei der Einrichtung 10 zur vertikalen Positionierung beispielsweise um eine piezoelektrische Röhre mit Quadranten handelt, kann der Computer 15 der Einrichtung 14 befehlen, die Quadranten geeigneten Spannungen
- 30 auszusetzen, um das Ende 8 der Lichtleitfaser 7 nanometergenau seitlich zu verschieben. Es sei daran erinnert, daß man eine vertikale Verschiebung mit einer piezoelektrischen Röhre des erwähnten Typs dadurch erreicht, daß man die in der Röhre untergebrachte Elektrode in bezug auf die Gesamtheit der Quadranten einem Potentialunterschied aussetzt.
- 35

- g) Nach der Durchführung dieser Vorpositionierung steuert der Computer 15 gleichzeitig die Inbetriebnahme der Lichtquelle 4, z. B. für UV-Licht, und die gegenseitige Verschiebung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 und des Substrates 2 (d.h. die Inbetriebnahme der Einrichtung zur mikrometergenauen seitlichen Verschiebung, die in der vibrationsfreien Auflage 9 integriert ist, und die Inbetriebnahme der Einrichtung zur „feinen“ Positionierung, die in der Einrichtung 10 zur vertikalen Verschiebung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 integriert ist).
- h) Die Lichtquelle 4 kann, je nach Gleichmäßigkeit der auf dem lichtempfindlichen Lack auszubildenden Geradenabschnitte, kontinuierlich oder intermittierend betrieben werden. Im vorliegenden Fall breitet sich das von dieser Quelle 4 ausgestrahlte Licht nach dem Filtern in dem Übertragungskanal 12a am Eingang des optischen Kopplers 12 aus; dann gelangt ein bestimmter Prozentsatz (z. B. 50 %) dieses Lichtes in den Übertragungskanal 12c am Ausgang des Kopplers 12, wo es wieder an den Übertragungskanal 11a am Eingang des optischen Kopplers 11 zurückgesendet wird. Ein bestimmter Prozentsatz dieses Lichtes breitet sich schließlich in dem Übertragungskanal 11c des erwähnten Kopplers 11 aus, den vorzugsweise die Lichtleitfaser 7 des Nähensensors 6 bildet.
- i) Ein Teil des beispielsweise ultravioletten, von der Quelle 4 ausgestrahlten Lichtes wird somit aus der Nähe des Substrats 2 emittiert. Auf den lichtempfindlichen Lack wird dann das durch die Verschiebung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 und des Substrates 2 zueinander beschriebene Muster geschrieben. Während der gesamten Dauer des Schreibens gewährleistet die Gegenkopplungseinrichtung 14 dank der von dem Photonendetektor 13 durchgeführten Messung die Beibehaltung der Nähe des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 zur Oberfläche des Substrates 2; diese kontinuierliche Messung ist aufgrund der geringen zu erwartenden Abweichungen des gemessenen Abstandes möglich, da die Siliziumoxidoberfläche, die das Substrat 2, d.h. beispielsweise einen Siliziumwafer, bedeckt, nur eine geringe Rauigkeit aufweist.
- Es sei hier darauf hingewiesen, daß die zuvor beschriebene Funktionsweise der erfindungsgemäßen Mikrolithographievorrichtung 1 besonders vorteilhaft ist. So hat man festgestellt, daß man auf einem zuvor auf ein Substrat 2 aufgebrachten, lichtempfindlichen Lack ohne Metallisierung des Substrates 2 schreiben kann. Die Ausrichtung der Quelle, die das Licht zum Schreiben emittiert, gegenüber dem Substrat 2 erfolgt rein optisch, und die Funktionsweise des Nähensensors 6 ist völlig unabhängig von derjenigen des Schreibens; somit ist kein Konflikt zwischen diesen beiden Funktionen zu befürchten. Des weiteren kann keine Verschiebung zwischen Messung und Gravur erfolgen, da man genau an der Stelle schreibt, an der die Abstandsmessung durchgeführt wird.

Auf diese Weise konnte eine Probe eines Siliziumwafers hergestellt werden. Diese wurde nach der Oberflächenoxidation zur Ausbildung einer dünnen Schutzschicht aus Siliziumoxid in herkömmlicher Weise, d.h. mit geeigneten Lösungsmitteln, gereinigt. Dann wurde der Siliziumwafer bei 200°C unter Dehydratisierung getempert. Anschließend verwendete man Verfahren und Produkte, die von der amerikanischen Firma Shipley Company Inc., die eine Autorität auf dem Gebiet der Erfindung ist, empfohlen werden. Nach dem Tempern (Ofentrocknung) wurde auf die Oberfläche des Siliziumwafers ein haftverbesserndes Mittel mit der Handelsbezeichnung „Microposit Primer“ aufgebracht. Dieses Produkt verbessert deutlich die Haftung des Lackes an der Oberfläche des Siliziumoxids. Dann wurde ein lichtempfindlicher Positivlack mit der Handelsbezeichnung „Microposit 3000 Resist“ aufgebracht; dieser Lack kann mit einer UV-Strahlung mit etwa 3000 Angström (300 nm) belichtet werden. Diese Strahlung verbreitet sich mühelos in den Lichtleitfasern aus Siliziumoxid, die zur Ausbildung von optischen Kopplern von der Art der Koppler 11 und 12 verwendet werden (die Wellenlänge, unterhalb welcher eine Strahlung sich nicht mehr in einer Siliziumoxid- oder Quarzfaser ausbreitet, beträgt 180 nm). Es ist festzustellen, daß die Aufbringung des lichtempfindlichen Lackes auf den Siliziumwafer in flüssiger Phase in einer Plattenschleuder, wie sie zu dem unter der Handelsbezeichnung „Système 6000“ von der amerikanischen Firma Eaton hergestellten System gehört, durchgeführt wurde. Die Rotationsgeschwindigkeit der Plattenschleuder betrug 9000 Umdrehungen/Minute, und so konnte man in 20 Sekunden eine lichtempfindliche Lackschicht mit geringer Dicke, d.h. 0,6 µm, erzielen. Diese Dicke kann durch Modifikation der Viskosität des Lackes mit einem unter der Handelsbezeichnung „Microposit Thinner type 30“ erhältlichen Lösungsmittel deutlich verringert werden. Es ist festzustellen, daß dieser Lack für eine von einem Helium-Neon-Laser emittierte Strahlung mit einer Wellenlänge von 6328 Angström durchlässig ist.

Anschließend wurde der Lack leicht erwärmt, um die Lösungsmittel zu verdampfen und die Haftung zu verbessern und um den Lack im Hinblick auf dessen Überführung in das dichte Gehäuse 3 der erfindungsgemäßen Mikrolithographievorrichtung 1 leicht zu härten, wobei dieser Transfer selbstverständlich in einer kontrollierten Atmosphäre und in einem Reinraum (z. B. Klasse 10) mittels eines für diesen Verwendungszweck ausgelegten Karussells erfolgt.

Gemäß dem zuvor beschriebenen, erfindungsgemäßen Verfahren wurde dann der lichtempfindliche Lack belichtet. Die Belichtungsdauer hängt selbstverständlich von der Lichtstärke der als Lichtquelle 4 verwendeten Hochdruckdampfen ab.

Der Siliziumwafer wurde anschließend in ein Gehäuse überführt, wo der lichtempfindliche Lack mit einem unter der Handelsbezeichnung „Microposit 300 Developer“ erhältlichen Produkt entwickelt, dann mehrere Male mit entsalztem Wasser gespült und schließlich unter

Stickstoffatmosphäre getrocknet wurde. Anschließend wurde der Lack 20 Minuten bei 90°C nachgehärtet.

5 Schließlich werden die von den Lackabdeckungen festgelegten Siliziumoxidbereiche unter Anwendung einer Trockenätzung mit Plasma geätzt, dessen Eigenschaften bekannt sind.

Die abschließende Untersuchung des Siliziumwafers mit einem Elektronenmikroskop einerseits und einem optischen Nahfeldmikroskop mit Lichtleitfasern gemäß der bereits erwähnten französischen Patentanmeldung Nr. 89-11 297 andererseits hat gezeigt, daß
10 Muster mit einer Größe von 100 nm ausgebildet werden konnten. Die anderen Versuchsbedingungen dieser Ausbildung waren wie folgt: die Lichtleitfaser 7, die gleichzeitig den Nähensensor 6 bildet und als Lichtquelle zum Schreiben dient, weist an ihrem Ende 8 einen Kern mit einem Durchmesser von 500 nm und eine Hülle mit einem Durchmesser von 1 µm auf. Diese Eigenschaften am Ende der Faser 7 wurden durch chemische Behandlung
15 und Schmelzen/Ziehen des Endes des Übertragungskanals 11g am Ausgang eines von der amerikanischen Firma Gould Inc. hergestellten optischen Kopplers 11 erhalten, der einen Kern mit einem Durchmesser von 4 µm und eine Hülle mit einem Durchmesser von 125 µm aufweist.

20 Unter Bezugnahme auf Figur 2 wird nun eine Mikrolithographievorrichtung 21 gemäß einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben.

In dieser Figur beziehen sich die Ziffern, die mit den in Figur 1 angegebenen Ziffern identisch sind, auf identische Elemente, die bei beiden als erfindungsgemäße Beispiele angegebenen
25 Varianten vorliegen.

Die Mikrolithographievorrichtung 21 zur Ausbildung von Submikrometerstrukturen auf einem Substrat 2 von der Art eines Siliziumwafers umfaßt somit:

- ein dichtes Gehäuse 3,
- 30 - eine Lichtquelle 5, beispielsweise für Rotlicht, von der Art eines Helium-Neon-Lasers,
- einen Nähensensor 6, der im Nahfeld arbeitet und insbesondere eine Lichtleitfaser 7 umfaßt, die an ihrem Ende 8 als optische Sonde fungiert,
- eine herkömmliche vibrationsfreie Auflage 9, auf der das Substrat 2 aufliegt,
- eine herkömmliche Vorrichtung 10 zur vertikalen Positionierung des Endes 8 der
35 Lichtleitfaser 7 in bezug auf die Oberfläche des Substrates 2; diese Vorrichtung 10 zur Positionierung kann ebenso zur „feinern“ seitlichen Positionierung des Endes 8 dienen;
- einen optischen Koppler 22 mit Lichtleitfasern vom Typ der bereits erwähnten optischen Koppler; dieser optische Koppler 22 umfaßt zwei Übertragungskanäle 22a und 22b am Eingang und zwei Übertragungskanäle 22c und 22d am Ausgang; die

- Lichtleitfaser 7 bildet vorteilhafterweise den Übertragungskanal 22c am Ausgang des Kopplers 22; der Übertragungskanal 22d am Ausgang wird nicht verwendet; der Übertragungskanal 22a am Eingang ist durch ein geeignetes herkömmliches Mittel mit der Lichtquelle 4, z. B. für Rotlicht, gekoppelt;
- einen Photonendetektor 13, wie z. B. einen Photovervielfacher, der für das von der Quelle 5 emittierte Licht empfindlich ist; dieser Detektor 13 ist mit dem Übertragungskanal 22b am Eingang des optischen Kopplers 22 verbunden;
 - eine Gegenkopplungseinrichtung 14, welche die Einrichtung 10 zur vertikalen Positionierung mit einem Computer 15 verbindet, der insbesondere in Abhängigkeit von der Intensität, die der Photonendetektor 13 empfängt, den Abstand zwischen dem Ende 8 der Lichtleitfaser 7 und der Oberfläche des Substrates 2 steuert. Der Computer 15 erlaubt auch die Steuerung der seitlichen Verschiebungen des Substrates 2 und des Endes 8 der Faser 7 zueinander.
- Entsprechend der Figur 3 und gemäß einem zusätzlichen Merkmal der Mikrolithographievorrichtung 21 ist wenigstens das Ende 8 der Lichtleitfaser 7 des im Nahfeld arbeitenden Nähensensors 6 metallbeschichtet. Die auf die Lichtleitfaser 7 aufgebrachte Metallschicht 23 kann sich teilweise um deren Ende 8 erstrecken und beispielsweise einen Halbzylinder beschreiben, dessen Mantellinie ein fiktiv um die Faser 7 geschlagener Kreisbogen \underline{C} ist. Des weiteren weist eine derartige Metallschicht 23 eine Dicke auf, mit der sie für das sich in der Faser 7 ausbreitende Licht durchlässig ist; sie stört insbesondere nicht die Wiederaufnahme des an das Substrat 2 emittierten und von diesem zurückgeworfenen Lichtes durch das Ende 8 der Faser 7.
- Die Metallschicht 23 ist aufgelötet oder vorzugsweise mit einem geeigneten, leitfähigen Klebemittel am Ende eines feinen, nicht in den Figuren dargestellten Leitungsdrahtes angeklebt. Dieser Draht mündet in einen ebenfalls nicht dargestellten Stecker, aus dem ein Draht 24 mit einem größeren Durchmesser austritt, der das dichte Gehäuse 3 in geeigneter Weise durchquert, so daß er elektrisch an eine Stromversorgung 25 mit niedriger Spannung angeschlossen werden kann. Die Oberfläche des Substrates 2 ist über einen elektrischen Stecker 26 ebenfalls mit dieser Versorgung 25 verbunden. Ein leicht erhöhter Potentialunterschied in der Größenordnung von 25 Volt kann somit zwischen der Metallschicht 23 und der Oberfläche des Substrates 2, die von dem Ende 8 der metallbeschichteten Lichtleitfaser 7 mehrere zehn Nanometer entfernt ist, angelegt werden.
- Das so erzeugte, sehr starke elektrische Feld, das durch den bekannten, sogenannten „Spitzen“-Effekt verstärkt wird, ruft die Emission eines Elektronenstroms am Ende 8 der Faser 7 hervor.

Es sei darauf hingewiesen, daß in der Figur 3 bewußt eine Lichtleitfaser 7 dargestellt wurde,

die, wie weiter unten ausgeführt, weder ein durch ein Schmelz-/Ziehverfahren gestrecktes noch ein durch vorherige chemische Behandlung an der Spitze ausgedünntes Ende 8 aufweist. Gemäß Figur 3 ist die Ausgangsfläche 24 der Lichtleitfaser 7 also eben. Die Ausrichtung dieser Fläche 27 in bezug auf die Längsrichtung der Ausbreitung des Lichtes in der Faser 7 ist nicht orthogonal, sondern bildet einen Winkel von einigen Grad (3 bis 4°). Diese besondere Anordnung gemäß einer speziellen, nicht-einschränkenden Ausführungsform der Erfindung stellt das Mittel zur Begrenzung eines Teils der Metallschicht 23 bereit, der im wesentlichen eine Metallspitze 28 bildet. Das Ende dieser Metallspitze 28 befindet sich somit näher an der Oberfläche des Substrates 2 als die Mitte der Ausgangsfläche 27 der Faser 7. Dies ist kein Nachteil, da es genügt, dies als Parameter der Gegenkopplung zu berücksichtigen, mit welcher der Nähensensor 6 arbeitet. In diesem Fall werden die Elektronen somit von der Metallspitze 28 zur Oberfläche des Substrates 2 emittiert.

Darüber hinaus ändert die Tatsache, daß die Ausgangsfläche 27 der Lichtleitfaser 7 nicht parallel zur Oberfläche des Substrates 2 ist, angesichts des Neigungswinkels dieser Fläche 27 die Meßeigenschaften kaum. Außerdem läßt sich dies ohne weiteres berücksichtigen - diese Anordnung bewirkt in erster Linie eine Verringerung des Intensitätsniveaus, das von dem Photonendetektor 13 empfangen wird. Die Lichtstärke der Lichtquelle 5, z. B. eines Helium-Neon-Lasars, reicht jedoch ohne weiteres aus oder kann deutlich erhöht werden.

Gemäß einer anderen, nicht in den Figuren dargestellten Ausführungsform einer Metallbeschichtung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 bedeckt eine Metallschicht die gesamte Oberfläche des Endes 8, die zuvor durch ein an sich bekanntes Schmelz-/Ziehverfahren gestreckt und dann durch chemische Behandlung (mit einer Säure vom Typ HF) eines Teils ihrer Hülle entledigt wurde. Gegebenenfalls kann nur die Ausgangsfläche der Faser 7 später von der Metallschicht befreit werden, die sie bedeckt; dies ist jedoch nicht unbedingt erforderlich. Der Vorteil des letztgenannten Verfahrens zur Ausbildung einer Spitze am Ende 8 der Lichtleitfaser 7 besteht darin, daß der Emittor des von dem Nähensensor 6 benutzten Lichtes sich genau an derselben Stelle befindet wie eine Metallspitze, die zur Emission von Elektronen unter Einwirkung eines elektrischen Feldes geeignet ist, das aus dem von der elektrischen Versorgung 25 erzeugten Potentialunterschied resultiert.

Das Verfahren zur Verwendung der Mikrolithographievorrichtung 21 ist im wesentlichen mit dem Verfahren zum Betrieb der Mikrolithographievorrichtung 1 gemäß der ersten beschriebenen Variante identisch. Eine Veränderung liegt lediglich bezüglich der Art des Lackes und seiner Belichtung vor.

Dabei wurde der lichtempfindliche Positivack durch einen Lack, der unter Einwirkung eines

Elektronenstrahl polymerisiert bzw. z. B. durch einen Negativlack des unter der Bezeichnung PMMA bekannten Typs (es handelt sich dabei um ein auf dem Gebiet der Erfindung häufig verwendetes Photopolymer) ersetzt. Dieser Lack wird in Chlorbenzol gelöst, dann in flüssiger Phase auf einen zuvor im Ofen getrockneten und mit einem haftverbessernden Mittel beschichteten Siliziumwafer aufgebracht. Die Aufbringung des Lackes wird in einer Plattenschleuder durchgeführt, die sich mit 8000 Umdrehungen/Minute dreht. Nach 8-stündigem Tempern des Lackes bei einer Temperatur von 175°C erhält man eine PMMA-Lackschicht mit einer Dicke von 20 Angström.

Den Siliziumwafer gibt man in das dichte Gehäuse 3 und positioniert dann das Ende 8 der metallbeschichteten Lichtleitfaser 7 nahe der Oberfläche des Substrates 2. Nach Durchführung dieser Vorpositionierung steuert der Computer 15 gleichzeitig die Inbetriebnahme der elektrischen Versorgung 25 und die Verschiebung des Endes 8 der Lichtleitfaser 7 und des Substrates 2 zueinander (d.h. die Inbetriebnahme der in der vibrationsfreien Auflage 9 integrierten Positioniereinrichtung und der Einrichtung zur „feinen“ seitlichen Positionierung, die in der Einrichtung 10 zur vertikalen Positionierung integriert ist).

Elektronen mit 25 Volt können somit in dem PMMA-Lack Muster ausbilden, deren Beschreibung in digitaler Form von dem Computer 15 bereitgestellt wird. Während der gesamten Belichtung behält der Nähensensor 6 einen Abstand von einigen zehn Nanometern zwischen der Oberfläche des Substrates 2 und dem Ende 8 der metallbeschichteten Lichtleitfaser 7 bei. Es sei daran erinnert, daß die Fläche, die als Bezugsgröße für die von dem Sensor 6 durchgeführte Messung mit der Wellenlänge beispielsweise des von einem Helium-Neon-Laser emittierten Lichtes dient, durch die Grenzfläche zwischen dem Lack und der Oberfläche der Siliziumoxidschicht gebildet wird, die den Siliziumwafer einheitlich bedeckt. Die Entwicklung des PMMA-Lackes, der Elektronen ausgesetzt wird, die unter einem Potentialunterschied von 25 Volt beschleunigt worden sind, kann mit Aceton durchgeführt werden (die Entwicklung erhöht bei Negativlacken die belichteten Teile). Es ist festzustellen, daß mit Elektronen geringer Energie die belichteten Teile in einer Methanolverbindung löslich sind.

Ein klassisches Tempverfahren erlaubt die Härtung des Lackes, bevor die Teile des Siliziumwafers, die freigelegt wurden und durch die „photographischen“ Sperrbereiche begrenzt sind, einer Ionenbestrahlung ausgesetzt werden, durch welche die darunterliegende Siliziumstruktur modifiziert werden soll.

Die in diesem Fall erzeugten Muster konnten mit einem Elektronenmikroskop untersucht werden. Sie können eine Größe von bis zu 100 Nanometern erreichen.

13.07.98

- 17 -

Es sei darauf hingewiesen, daß die lineare „Schreib“geschwindigkeit auf dem Lack bei den beiden Ausführungsformen einer Mikrolithographievorrichtung unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens insbesondere bis zu 1 µm/s beträgt.

5 Darüber hinaus ist die Lichtleitfaser 7 gemäß einer dritten Ausführungsform einer Mikrolithographievorrichtung, die nicht in den Figuren dargestellt ist, aber im wesentlichen der in Figur 1 dargestellten Mikrolithographievorrichtung 1 entspricht, eine fluoreszierende Faser, wobei die Wellenlänge von fluoriertem Licht deutlich unter der Ausbreitungsgrenze einer optischen Welle in einer Siliziumoxid- oder Quarzfaser (nämlich 180 nm) liegt. Insbesondere
10 kann man fluoreszierende Fasern ausbilden, die im Röntgenstrahlenbereich wiederausstrahlen. Eine erfindungsgemäße Mikrolithographievorrichtung, die eine derartige Faser verwendet, kann aufgrund ihrer Einfachheit in vorteilhafter Weise mit den Röntgen-Mikrolithographieverfahren durch sehr feine Masken, die schwierig herzustellen und auf einem Siliziumwafer zu positionieren sind, konkurrieren.

15

Es ist natürlich ersichtlich, daß Verfahren und Vorrichtungen zur Mikrolithographie gemäß vorliegender Erfindung in keiner Weise durch diese Beschreibung oder die beigefügten Zeichnungen, die lediglich zur Veranschaulichung, nicht zur Einschränkung dienen, eingeschränkt sind.

20

Das Gebiet der Erfindung ist das der Mikrolithographie eines Substrates von der Art eines Siliziumwafers zur Ausbildung von Submikrometer- bzw. sogar Nanometerstrukturen auf dessen Oberfläche.

Ansprüche

5

10

15

20

25

30

35

1. Verfahren zur direkten Mikrolithographie mittels Rastern eines Substrats von der Art eines Siliziumwafers durch einen optischen und/oder elektronischen, von einer Emissionsstelle emittierten Strahl zur Behandlung, um eine photo- oder elektromechanische Ausbildung von Submikrometerstrukturen auf der Oberfläche dieses Substrats auszuführen, bei dem ein Nähensensor (6) mit einer Lichtquelle (5) verwendet wird, die mit einer Lichtleitfaser (7) verbunden ist, deren Ende eine Sonde (8) ausbildet, welche im Nahfeld des Substrats (2) derart gehalten wird, daß von der Lichtquelle (5) ausgesandtes Licht auf das Substrat gerichtet wird, wobei ein Teil dieses Lichts von der Oberfläche des Substrats (2) reflektiert und von dem Ende der Sonde (8) gesammelt und auf dem Rückweg in die Lichtleitfaser (7) zu einer Detektionseinrichtung (13) und einer Datenverarbeitungseinrichtung (15) geführt wird, welche eine Gegenkopplungseinrichtung steuert, dadurch gekennzeichnet, daß die Emissionsstelle des Strahls zur Verarbeitung und die Sonde (8) vereinigt werden, so daß die Sonde gleichzeitig eine Quelle für den Strahl zur Behandlung aufweist und das Schreiben an dem Ort der durch den Nähensensor durchgeführten Messung erfolgt, damit ein konstanter Abstand zwischen der Emissionsstelle und der Oberfläche der Auflage (9), die sich unmittelbar unterhalb des Endes der Sonde (8) befindet, beibehalten wird.

2. Mikrolithographie-Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein photomechanisches Schreiben mit Hilfe eines Photonenstrahls durchgeführt wird, der über die Sonde (8) des Nähensensors (6) angesetzt wird.

3. Mikrolithographie-Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein elektromechanisches Schreiben mit Hilfe eines Elektronenstrahls durchgeführt wird, der von einer am Ende der Sonde (8) des Nähensensors (6) befestigten Metallschicht emittiert wird.

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Mikrolithographie eines Substrats von der Art eines Siliziumwafers, auf dem zuvor ein Lack aufgebracht wurde, um auf seiner Oberfläche Submikrometerstrukturen auszubilden, wobei die Vorrichtung folgendes aufweist:

eine Auflage (9) zur Aufnahme des Substrats (2) bei der Mikrolithographie, eine Emissionsstelle (8; 23) für einen Strahl zur Behandlung, auf den der Lack empfindlich ist,

Mittel zur relativen Horizontalverschiebung zwischen dem Strahl zur Behandlung und der Auflage (9), um die Submikrometerstrukturen in den Lack des Substrats (2) zu zeichnen,

sowie

5 einen Nähsensor (6) mit einer Lichtquelle (5), die mit einer Lichtleitfaser (7) verbunden ist, deren Ende eine Sonde (8) ausbildet, wobei diese Sonde im Nahfeld des Substrats (2) derart gehalten wird, daß von der Lichtquelle (5) ausgesandtes Licht auf das Substrat gerichtet wird, wobei ein Teil dieses Lichts von der Oberfläche des Substrats (2) reflektiert und von dem Ende der Sonde (8) gesammelt und auf dem Rückweg in die Lichtleitfaser (7) zu einem Photodetektor (13) geführt wird, der wiederum mit einer Datenverarbeitungseinrichtung (15) verbunden ist, die eine Gegenkopplungseinrichtung (14) steuert, dadurch gekennzeichnet, daß die Emissionsstelle für den Strahl zur Behandlung und die Sonde (8) vereinigt sind, so daß die Sonde gleichzeitig eine Quelle für den Strahl zur Behandlung aufweist und das Schreiben an dem Ort der durch den Nähsensor durchgeführten Messung erfolgt, sowie dadurch, daß die Gegenkopplungseinrichtung (14) auf vertikale Positioniermittel (10) des Substrats (2) derart wirkt, daß ein konstanter Abstand zwischen der Emissionsstelle und der Oberfläche der Auflage (9), die sich unmittelbar unterhalb des Endes der Sonde befindet, beibehalten wird.

20 5. Vorrichtung zur Mikrolithographie nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahl zur Behandlung ein Photonenstrahl zum photomechanischen Schreiben ist, der aus einer zweiten Lichtquelle (4) stammt, die zu diesem Zweck mit der Sonde (8), welche die Emissionsstelle für den Strahl ausbildet, verbunden ist.

25 6. Vorrichtung zur Mikrolithographie nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtleitfaser (7) das von der Lichtquelle (5) kommende Licht des Nähsensors (6) mit Hilfe eines ersten optischen Kopplers (11, 22) aufnimmt, von dem ein Übertragungskanal (11a, 22a) im Eingang mit der Lichtquelle (5) verbunden ist und ein Übertragungskanal (11c, 22c) im Ausgang mit der Lichtleitfaser (7) verbunden ist, wobei ein dritter Übertragungskanal (11b, 22b) mit dem Photodetektor (13) verbunden ist.

30 7. Vorrichtung zur Mikrolithographie nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Koppler (11) ein erster Koppler ist, dessen Eingangskanal (11a) mit einem Ausgangskanal (12c) eines zweiten Kopplers verbunden ist, der einen ersten Eingangskanal aufweist, welcher mit der Lichtquelle (5) des Nähsensors (6) verbunden ist, und einen zweiten Eingangskanal (12a), der mit der zweiten Lichtquelle (4) verbunden ist, die den Strahl zur Behandlung aussendet.

35 8. Vorrichtung zur Mikrolithographie nach Anspruch 4 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahl zur Behandlung ein Elektronenstrahl ist, der von einem Emitter emittiert wird, welcher aus einer Metallschicht (23) besteht, die auf zumindest einem Teil der Peripherie der Sonde (8) aufgebracht und mit einem Leitungsdraht verbunden ist, der sie elektrisch an eine

13.07.99

- 20 -

elektrische Versorgung (25) anschließt, und dadurch, daß der Elektronenstrahl zur Behandlung parallel zum Strahl der Sonde (8) des Nähsensors ist.

5 9. Vorrichtung zur Mikrolithographie nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallschicht die gesamte Peripherie der Sonde (8) bedeckt, deren Ende als eine Spitze ausgestaltet ist, die sich am gleichen Ort wie die Emissionsstelle des vom Nähsensor (6) verwendeten Lichts befindet.

10 10. Vorrichtung zur Mikrolithographie nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsfläche der Faser (7) der Sonde (8) frei von einer Metallschicht ist.

15 11. Vorrichtung zur Mikrolithographie nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallschicht als Halbzylinder (23) ausgestaltet ist, dessen Mantellinie ein um die Faser (7) der Sonde (8) herum geschlagener Kreisbogen (C) ist.

20 12. Vorrichtung zur Mikrolithographie nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Endfläche (27) der Sonde (8) einen Winkel von einigen Grad bezüglich der Längsausbreitungsrichtung des Strahls in der Faser (7) bildet, so daß der Halbzylinder (23) eine zur Oberfläche des Substrats gerichtete Spitze (28) bildet.

13 OF 99

690 32 277.1

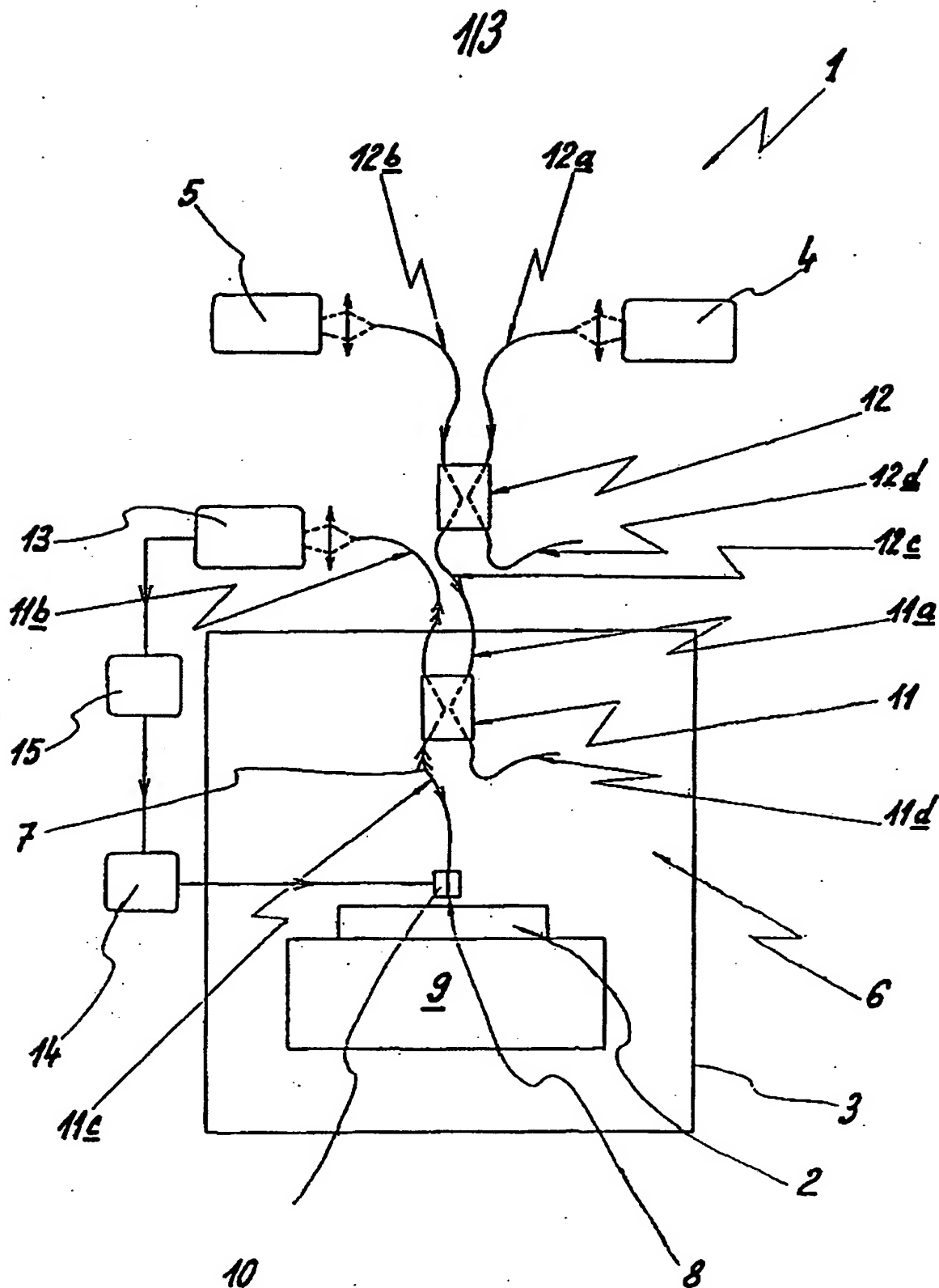


Fig 1

13.07.98

3/3

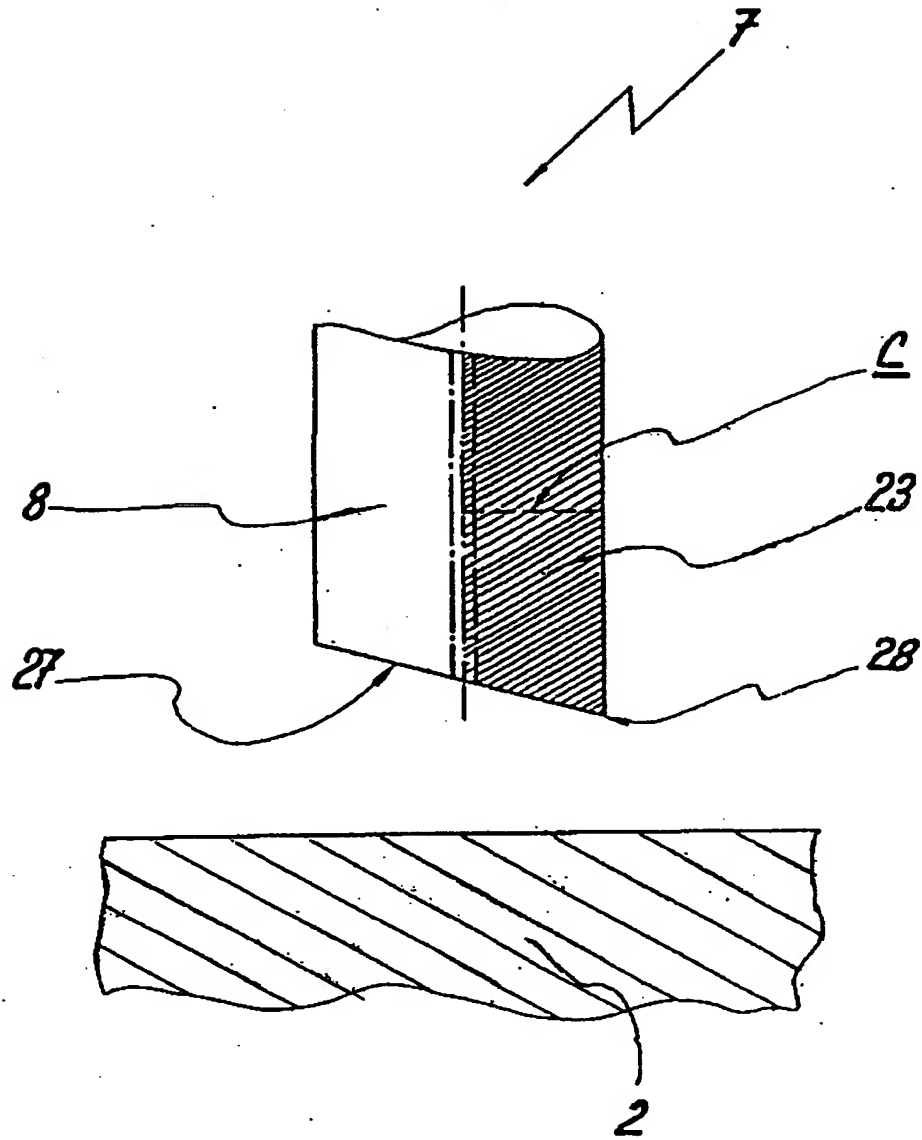


Fig 3